

ИССЛЕДОВАНИЕ АСТАТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСНОГО СТАБИЛИЗАТОРА ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Рассмотрен астатический импульсный стабилизатор. Показано, что нестабильность выходного напряжения такого стабилизатора определяется нестабильностью только источника опорного напряжения, что выгодно отличает его от получивших широкое распространение импульсных стабилизаторов со статическим регулированием. Приведены результаты экспериментальных исследований стабилизатора.

Одной из основных задач, возникающих при проектировании источников вторичного электропитания современной телевизионной аппаратуры, является повышение их КПД. Эта задача в настоящее время решается использованием в источниках питания энергетически эффективных импульсных стабилизаторов напряжения (ИСН), обладающих сравнительно невысокой стабильностью (обычно не лучше 2%). В телевизионной же аппаратуре от источников питания часто требуется весьма малая нестабильность выходных напряжений (0,1% и менее). С этой целью в них применяются энергетически неэффективные линейные стабилизаторы напряжения (ЛСН) либо используется комбинация ИСН — ЛСН. В обоих случаях приходится мириться со снижением КПД источников питания. Поэтому задача создания ИСН, обладающего высоким КПД и не уступающего ЛСН по коэффициенту стабилизации выходного напряжения, представляется достаточно актуальной.

Значительно увеличить коэффициент стабилизации ИСН со статическим регулированием за счёт подъёма коэффициента усиления цепи обратной связи практически невозможно из-за потери устойчивости в таких ИСН. Различного рода корректирующие звенья [1, 2] в цепи обратной связи позволяют, как правило, лишь незначительно улучшить качество стабилизации выходного напряжения. Неустойчивость ИСН при большом коэффициенте усиления цепи

обратной связи обусловлена, в основном, наличием в замкнутом контуре автоматического регулирования инерционного звена — сглаживающего LCD-фильтра. Исключение этого звена из контура регулирования даёт возможность без дополнительных потерь энергии построить ИСН, не уступающий ЛСН, а в ряде случаев и превосходящий его по стабильности выходного напряжения при изменении входного. Это, в свою очередь, позволит в ряде случаев отказаться от использования линейных стабилизаторов во вторичных источниках питания телевизионной аппаратуры и, тем самым, повысить их энергетическую эффективность.

Существующие в настоящее время импульсные стабилизаторы напряжения [3, 4], в которых LCD-фильтр не входит в контур регулирования, или уступают ИСН, построенным традиционным образом, по стабильности выходного напряжения, или имеют изменяющуюся в широких пределах рабочую частоту [5], что не позволяет использовать их во вторичных источниках питания телевизионной аппаратуры из-за невозможности полного устранения воздействия широкого постоянно меняющегося спектра излучения.

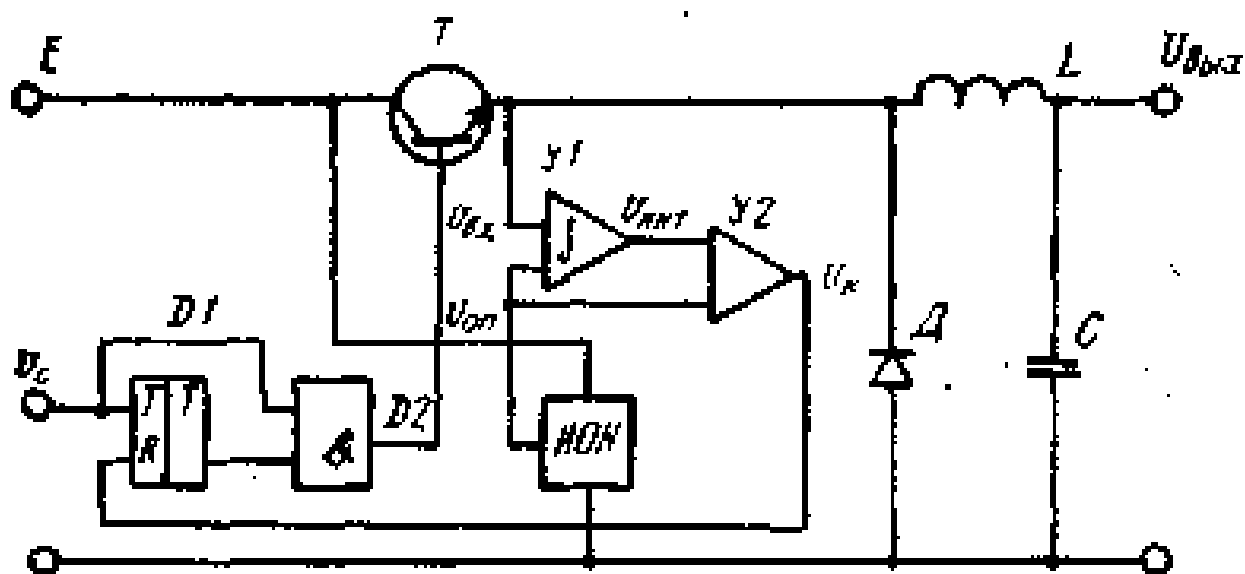


Рис. 1. Функциональная схема астатического импульсного стабилизатора постоянного напряжения
ИОН — источник опорного напряжения

Рассмотрим функциональную схему астатического импульсного стабилизатора постоянного напряжения (рис. 1), свободного от указанных недостатков. Стабилизатор состоит из силовой части, в которую входят ключевой транзистор Т, LCD-фильтр, состоящий из дросселя L, диода Д и конденсатора С, и схемы управления, включающей в себя интегратор У1, компаратор У2, триггер D1 и элемент совпадения D2.

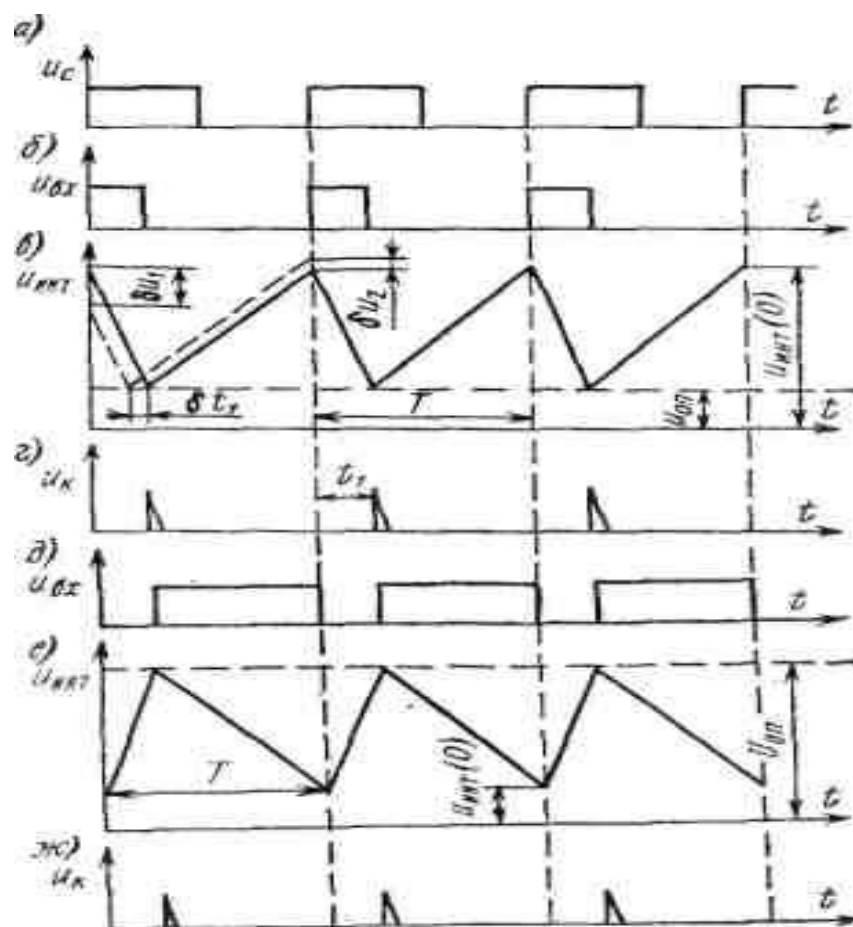


Рис. 2. Временные диаграммы работы астатического стабилизатора при выходном напряжении меньше половины входного (б, в, з) и больше половины входного (д, е, ж)

а) синхронизирующие импульсы, б, д) напряжение на входе интегратора, в, е) напряжение на выходе интегратора, з, ж) напряжение на выходе компаратора

Рассмотрим работу стабилизатора для случая, когда величина выходного напряжения меньше половины входного (рис. 2 а—з). На счётный вход триггера D1 схемы управления и на один из входов логического элемента D2 подаются импульсы u_c от внешнего генератора, скважность которых равна 2. С приходом

очередного импульса триггер устанавливается в состояние, соответствующее уровню напряжения логической единицы. При этом на выходе элемента совпадения $D2$ напряжение соответствует высокому логическому уровню, что вызывает отпирание ключевого транзистора T . Напряжение с выхода транзистора T подаётся на вход интегратора $У1$ и вход LCD -фильтра. В процессе интегрирования разности напряжений на входе интегратора $u_{вх}$ и опорного $U_{оп}$ напряжение на выходе интегратора $u_{инт}$ через некоторое время t_1 достигнет значения опорного напряжения:

$$U_{инт}(t) = U_{оп} \quad (1)$$

При этом срабатывание компаратора вызывает установку триггера схемы управления в состояние, соответствующее логическому нулю. На выходе логического элемента $D2$ уровень напряжения также будет соответствовать логическому нулю, что вызовет запираание ключевого транзистора T .

Напряжение на выходе интегратора $u_{инт}(t)$ в каждый момент времени t определяется следующим образом:

$$u_{инт}(t) = u_{инт}(0) - \frac{1}{\tau_{и}} \int_0^t [u_{вх}(t) - U_{оп}] dt, \quad (2)$$

где $u_{инт}(0)$ — напряжение на выходе интегратора в начальный момент каждого периода,

$\tau_{и}$ — постоянная времени интегрирования,

$u_{вх}(t)$ — напряжение на входе интегратора,

$U_{оп}$ — напряжение источника опорного напряжения.

В установившемся режиме при неизменном входном напряжении напряжение на выходе интегратора в начальный момент каждого периода должно быть равно напряжению в конце периода, т. е. при $t=T$, где T — длительность периода,

$$u_{инт}(0) = u_{инт}(T). \quad (3)$$

Подставляя в выражение (2) значение времени $t=T$ и учитывая соотношение (3), получим:

$$\int_0^T u_{\text{вх}}(t)dt = TU_{\text{оп}}. \quad (4)$$

Напряжение на выходе LCD-фильтра $U_{\text{вых}}$, при условии непрерывности тока через дроссель фильтра, равно среднему значению напряжения на его входе $u_{\text{вх}}$ [6]:

$$U_{\text{вых}} = \frac{1}{T} \int_0^t u_{\text{вх}}(t)dt. \quad (5)$$

Подставляя в формулу (5) значение интеграла из выражения (4), получим тождество, свидетельствующее о том, что рассматриваемый стабилизатор является астатическим:

$$U_{\text{вых}} \equiv U_{\text{оп}}. \quad (6)$$

Таким образом, при условии постоянства опорного напряжения выходное напряжение не зависит от дестабилизирующих факторов: изменений входного напряжения и температуры среды. Однако неидеальность параметров элементов схемы стабилизатора приводит к тому, что нестабильность выходного напряжения все же отлична от нуля. Действительно, нестабильность по входному напряжению определяется точностью интегрирования звена У1 и при построении интегратора на основе современных операционных усилителей, имеющих высокий коэффициент передачи (10^4 — 10^5), составляет малую, но конечную величину. Температурная нестабильность выходного напряжения зависит от температурных изменений опорного напряжения и напряжения смещения нуля операционного интегрирующего усилителя и тоже составляет весьма малую величину. Нестабильность по току нагрузки определяется сопротивлением дросселя LCD-фильтра. Поэтому для получения низкого значения внутреннего сопротивления рассматриваемого стабилизатора в качестве дросселя LCD-фильтра необходимо использовать дроссель с малым омическим сопротивлением обмотки. Коммутирующие элементы схемы (транзистор и диод) не оказывают влияния на нестабильность выходного напряжения, поскольку изменения напряжения на них при влиянии дестабилизирующих факторов учитываются в процессе интегрирования.

Для выполнения условия (3) необходимо, чтобы при наличии внешнего возмущения δu_1 отклонение напряжения на выходе интегратора в конце периода δu_2 по абсолютной величине не превышало бы значения возмущения δu_1 , вызвавшего это отклонение в начале периода (см. рис. 2в), т.е.

$$\frac{\delta u_2}{\delta u_1} < 1 \quad (7)$$

Из рис. 2в нетрудно вывести соотношения:

$$\frac{u_{\text{инт}}(0) + \delta u_2}{u_{\text{инт}}(0)} = \frac{T - (t_1 - \delta t_1)}{T - t_1}, \quad (8)$$

$$\frac{u_{\text{инт}}(0) + \delta u_1}{u_{\text{инт}}(0)} = \frac{t_1 - \delta t_1}{t_1}, \quad (9)$$

где δt_1 — изменение длительности времени t_1 , вызванное отклонением δu_1 .

Решая совместно уравнения (8) и (9) относительно δu_1 и δu_2 и подставляя результат в выражение (7), найдём максимальное значение времени t_1 , при котором выполняется условие (3):

$$t_{1\text{макс}} < \frac{T}{2}. \quad (10)$$

При невыполнении неравенства (10) небольшое отклонение выходного напряжения интегратора от установившегося значения в начале периода $u_{\text{инт}}(0)$ вызовет в конце периода отклонение, большее по абсолютной величине, чем начальное. В результате в стабилизаторе возникнут автоколебания на частотах, меньших рабочей. Выполнение условия (10), т.е. обеспечение устойчивости схемы, достигается тем, что импульсы от внешнего генератора, скважность которых равна 2, с помощью элемента совпадения D2 ограничивают длительность времени t_1 на уровне половины периода.

Выполнение неравенства (10) при выходном напряжении стабилизатора, меньшем половины входного, требует, чтобы ключевой транзистор в течение времени от начала периода до момента $t = t_1$ был отперт. При этом величина начального напряжения, как следует из выражения (2), будет определяться следующим образом:

$$u_{\text{инт}}(t_1) = u_{\text{инт}}(0) - \frac{1}{\tau_{\text{и}}} \int_0^{t_1} [u_{\text{вх}}(t) - U_{\text{оп}}] dt = u_{\text{инт}}(0) - \frac{E - U_{\text{оп}}}{\tau_{\text{и}}} t_1, \quad (11)$$

где E — входное напряжение стабилизатора.

Преобразуя выражение (11) с учётом равенства (1), получим:

$$u_{\text{инт}}(0) = U_{\text{оп}} + \frac{(E - U_{\text{оп}})}{\tau_{\text{и}}} t_1. \quad (12)$$

В этом случае

$$u_{\text{инт}} \geq U_{\text{оп}}. \quad (13)$$

Для выполнения условия (13) компаратор должен быть подключен прямым входом к источнику опорного напряжения, а инверсным входом— к выходу интегратора.

Выполнение неравенства (10) при выходном напряжении, большем половины входного, требует, чтобы ключевой транзистор был отперт в течение времени от $t=t_1$ до $t = T$, что соответствует скважности импульсов на входе LCD-фильтра менее 2. Подставляя в выражение (2) значение времени $t=T$, получим соотношение, аналогичное равенству (12) в предыдущем случае:

$$u_{\text{инт}}(T) = U_{\text{оп}} - \frac{(E - U_{\text{оп}})}{\tau_{\text{и}}} (T - t_1).$$

При этом напряжение на выходе интегратора не превышает опорного, и компаратор должен быть подключён прямым входом к интегратору, а инверсным — к источнику опорного напряжения.

Таким образом, существуют два диапазона работы стабилизатора: при выходном напряжении меньше половины входного (рис. 2 б — з) и больше половины входного (рис. 2 д — ж). В первом случае ключевой транзистор большую часть периода должен быть заперт, во втором — отперт. Поэтому в первом случае ключевой транзистор отперт от начала периода до момента переключения компаратора, а во втором — от момента переключения компаратора до окончания периода, что достигается инвертированием сигнала управления ключевым транзистором и переключением входов компаратора.

Это позволяет стабилизировать выходное напряжение стабилизатора во всем диапазоне изменения входного.

В таблице приведены результаты измерения основных параметров ЛСН, построенного по компенсационной схеме с использованием микросхемы серии 142, ИСН со статическим регулированием и построенного по рассмотренной блок-схеме астатического импульсного стабилизатора напряжения. Все три стабилизатора были настроены на выходное напряжение 20 В при токе нагрузки 1 А

Основные параметры стабилизаторов

Тип стабилизатора напряжения	Нестабильность выходного напряжения, %, при изменении		Внутреннее сопротивление постоянному току, Ом	КПД
	входного напряжения от 23 до 34 В	температуры среды от 0 до 50°C		
Линейный	0,06	0,1	0,013	0,6
Импульсный	1,8	0,12	0,021	0,84
Импульсный астатический	0,01	0,05	0,04	0,84

Выводы

1. Рассмотренный астатический импульсный стабилизатор напряжения, обладая достаточным запасом устойчивости, по стабильности выходного напряжения превосходит линейный стабилизатор обычной точности и ещё в большей степени — импульсный стабилизатор со статическим регулированием.
2. Благодаря повышенной стабильности и высокому КПД астатический импульсный стабилизатор наиболее эффективен при большом диапазоне изменения входного напряжения, например при использовании в качестве входного стабилизатора в источниках питания, работающих от сети постоянного тока.
3. Принципиальная схема импульсного астатического стабилизатора легко

реализуется с помощью стандартных микросхем общего применения как в дискретном исполнении, так и на бескорпусных элементах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелешин В.И., Опадчий Ю.Ф., Мосин В.В. Улучшение динамических свойств ключевых ВИП. ЭТВА, 1980, вып. 11, с. 105 — 112.
2. Букреев С.С. Принципы элементного синтеза транзисторных стабилизированных преобразователей напряжения. ЭТВА, 1976, вып. 8, с. 42 — 45.
3. Мойн В.С., Лаптев Н.Н. Стабилизированные транзисторные преобразователи. М., «Энергия», 1972.
4. Александров Ф.И., Сиваков А.Р. Импульсные полупроводниковые преобразователи и стабилизаторы постоянного напряжения. Л., «Энергия», 1970.
5. Сазонов В.В. и Барабаш В.Т. Параметрический импульсный стабилизатор постоянного напряжения. Авт. свид. СССР № 591847, кл. G05f 3/08, 1976.
6. Векслер Г.С. Электропитание спец аппаратуры. Киев, «Вища школа», 1975.

22 сентября 1981 г.